

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  Небольсин В.А.
«30» августа 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Микроэлектронные приборы на гетероструктурах»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы

 / Т.В. Свистова /

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой элек-
троники и наноэлектроники

 / С. И Рембеза /

Руководитель ОПОП

 / С.И Рембеза /

Воронеж 2017

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование знаний по особенностям разработки, теоретическим и практическим вопросам расчета и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах, а также новым наиболее перспективным направлениям их развития.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- ознакомление с историей, достижениями и тенденциями развития микроэлектронных приборов на гетероструктурах, многообразием различных классов приборов на гетероструктурах;
- изучение физических принципов работы, характеристик и параметров микроэлектронных приборов на гетероструктурах;
- практическое освоение студентами задач моделирования и синтеза процессов, лежащих в основе работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах;
- приобретение навыков расчета основных параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Микроэлектронные приборы на гетероструктурах» относится к вариативной части блока Б1 учебного плана. Индекс дисциплины Б1.В.ДВ.4.2.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Микроэлектронные приборы на гетероструктурах» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1: способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

ОПК-2: способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

ОПК-5: способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных;

ПКВ-3: способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать достижения и тенденции развития микроэлектронных приборов на гетероструктурах
	уметь самостоятельно решать задачи моделирования, анализа и синтеза

	процессов и явлений, лежащих в основе работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах
	владеть навыками использования стандартной терминологии, определений, обозначений и единиц физических величин в микроэлектронике;
ОПК-2	знать физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных приборов на гетероструктурах
	уметь применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах;
	владеть навыками расчета основных параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах
ОПК-5	знать физические принципы работы, характеристики и параметры основных типов микроэлектронных приборов на гетероструктурах;
	уметь применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах.
	владеть навыками организации и проведения измерений электрических параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах
ПК-3	знать конструкции, параметры, основные эксплуатационные характеристики и области применения микроэлектронных приборов на гетероструктурах
	уметь проводить оценочные расчеты их основных параметров и характеристик.
	владеть навыками по особенностям разработки, теоретическим и практическим вопросам расчета и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Микроэлектронные приборы на гетероструктурах» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	72	72
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость час	108	108
	зач. ед. 3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Гетероструктуры в современной микроэлектронике.	Основные параметры и отличительные особенности гетеропереходов. Физические явления в классических гетероструктурах.	2	6	8	16
2	Полупроводниковые приборы на основе классических гетероструктур.	Низкопороговые полупроводниковые лазеры, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре, лазеры с распределенной обратной связью и с распределенными брэгговскими зеркалами, поверхностно-излучающие лазеры, инфракрасные лазеры на гетероструктурах II-го рода. Высокоэффективные светоизлучающие диоды. Солнечные элементы и фотодетекторы, основанные на эффекте широкозонного окна. Гетеробиполярные транзисторы с широкозонным эмиттером. Транзисторы, тиристоры, диодисторы с передачей светового сигнала. Мощные диоды и тиристоры.	4	-	16	20
3	Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками.	Фундаментальные физические явления в гетероструктурах с квантовыми ямами и сверхрешетками.	2	4	8	14
4	Полупроводниковые приборы на основе гетероструктур с квантовыми ямами (КЯ) и сверхрешетками.	Инфракрасные квантовые каскадные лазеры. Лазер с КЯ, ограниченной КПСР. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (ВПЭТ). Резонансно-туннельные диоды. Высокоточные стандарты сопротивлений. Приборы на основе эффекта электропоглощения и электрооптические модуляторы. Инфракрасные фотодетекторы на основе эффекта поглощения между уровнями размерного квантования.	4	8	16	28
5	Гетероструктуры с квантовыми проволоками (КП) и квантовыми точками (КТ).	Фундаментальные физические явления в гетероструктурах с квантовыми проволоками и квантовыми точками.	2	-	8	10
6	Применение гетероструктур с квантовыми проволоками и квантовыми точками	Лазеры на основе самоорганизующихся КТ. Многослойные КТ-лазер. Применение гетероструктур с квантовыми проволоками и квантовыми точками для создания «одноэлектронных» устройств. Новые возможности для развития полевых транзисторов.	4	-	16	20
Итого			18	18	72	108

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Микроэлектронные приборы на гетероструктурах» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) и контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать достижения и тенденции развития микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь самостоятельно решать задачи моделирования, анализа и синтеза процессов и явлений, лежащих в основе работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками использования стандартной терминологии, определений, обозначений и единиц физических величин в микроэлектронике;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками расчета основных параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать физические принципы работы, характеристики и параметры основных типов микроэлектронных приборов на гетероструктурах;	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах.	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками организации и проведения измерений электрических параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать конструкции, параметры, основные эксплуатационные характеристики и области применения микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Тест	Выполнение теста на 40 - 100%	В тесте менее 40 % правильных ответов
	уметь проводить оценочные расчеты их	Решение стандарт-	Продemonстриро-	Задачи

	основных параметров и характеристик.	ных практических задач	ван верный ход решения в большинстве задач	не решены
	владеть навыками по особенностям разработки, теоретическим и практическим вопросам расчета и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	знать достижения и тенденции развития микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь самостоятельно решать задачи моделирования, анализа и синтеза процессов и явлений, лежащих в основе работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками использования стандартной терминологии, определений, обозначений и единиц физических величин в микроэлектронике;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципов действия микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы микроэлектронных приборов на гетероструктурах;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками расчета основных параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-5	знать физические принципы работы, характеристики и параметры основных типов микроэлектронных приборов на гетероструктурах;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь применять методы расчета параметров и характеристик, моделирования и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах.	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками организации и проведения измерений электрических параметров и характеристик микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-3	знать конструкции, параметры, основные эксплуатационные характеристики и области применения микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь проводить оценочные расчеты их основных параметров и характеристик.	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	владеть навыками по особенностям разработки, теоретическим и практическим вопросам расчета и проектирования микроэлектронных приборов на гетероструктурах	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
--	---	--	--	------------------

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1	Сверхрешетка – 1) это полупрозрачный диэлектрик с определенной периодической структурой и уникальными оптическими свойствами; 2) это твердотельная периодическая структура, в которой на носители заряда наряду с потенциалом кристаллической решетки действует дополнительный встроенный потенциал; 3) это фазы переменного состава, в которых атомы различных элементов расположены в общей кристаллической решётке.
2	Гетеропереход – 1) это сверхрешетка, в которой искусственно создано поле, период которого на порядки превышает период основной решетки; 2) это контакт двух различных по химическому составу полупроводников, при котором кристаллическая решетка одного материала без нарушения периодичности переходит в решетку другого материала; 3) это фаза переменного состава, в которых атомы различных элементов расположены в общей кристаллической решётке, тип решетки компонента – растворителя сохраняется, но с иными размерами элементарной ячейки.
3	Какие пары материалов позволяют создавать гетерооптоэлектронные приборы: 1) Ge–Ge; 2) Si–Si; 3) GaAs–GaAlAs; 4) GaAs–GaAs?
4	Квантовой ямой называют 1) одномерную (1D) структуру с двумя нанометровыми геометрическими измерениями; 2) двумерную (2D) структуру с одним нанометровым измерением; 3) нульмерный (0D) объект, все три измерения которого имеют порядок нанометровых геометрических измерения.
5	Квантовой проволокой называют 1) одномерную (1D) структуру с двумя нанометровыми геометрическими измерениями; 2) нульмерный (0D) объект, все три измерения которого имеют порядок нанометровых геометрических измерения; 3) двумерную (2D) структуру с одним нанометровым измерением.
6	Квантовой точкой называют

	1) двумерную (2D) структуру с одним нанометровым измерением; 2) нульмерный (0D) объект, все три измерения которого имеют порядок нанометровых геометрических измерения; 3) одномерную (1D) структуру с двумя нанометровыми геометрическими измерениями.
7	Какие наноструктуры называются квантовыми ямами: 1) 3D; 2) 2D; 3) 1D; 4) 0D?
8	Какие наноструктуры называются квантовыми проволоками: 1) 3D; 2) 2D; 3) 1D; 4) 0D?
9	Какие наноструктуры называются квантовыми точками: 1) 3D; 2) 2D; 3) 1D; 4) 0D?
10	Какой спектр характерен для квантовой точки: 1) аналогичный спектру малоатомного кластера; 2) аналогичный спектру малоатомной молекулы; 3) аналогичный спектру квантовой ямы; 4) аналогичный спектру одиночного атома?

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	Какие устройства относятся к нанофотонным: 1) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей более 10^{-6} ; 2) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей менее 10^{-6} ; 3) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей более 10^{-7} ; 4) использующие оптоэлектронные приборы с размером областей менее 10^{-7}?
2	Какого типа лазеры обладают минимальными пороговыми токами: 1) на основе моноперехода; 2) на основе одиночной гетероструктуры; 3) на основе квантовых ям; 4) на основе квантовых точек?
3	Что называется энергетической щелью: 1) интервал энергий между верхним заполненным энергетическим уровнем валентной зоны и уровнем Ферми; 2) интервал энергий между верхним заполненным уровнем валентной зоны и ближайшим к нему незаполненным уровнем зоны проводимости;

	3) интервал энергий между потолком зоны проводимости и уровнем Ферми; 4) интервал энергии между двумя примесными уровнями в запрещенной зоне?
4	Какими оптическими свойствами обладают металлические нанокластеры: 1) более широкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы; комплексной диэлектрической проницаемостью; 2) более узкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы; комплексной диэлектрической проницаемостью; 3) более узкой полосой спектра поглощения, чем массивные материалы; постоянной диэлектрической проницаемостью.
5	Каких размеров может быть экситон полупроводникового нанокластера? 1) гораздо меньше кластера; 2) сравнимым или больше кластера; 3) гораздо больше кластера?
6	Какие фотонные кристаллы способны к интенсивному испусканию света: 1) GaAs; InP; 2) GaAlAs; InAsP; 3) GaS; InS?
7	На основе каких структур создают наноэлектронные лазеры: 1) моно р-п-переходов; 2) гетероструктур; 3) полимерных материалов; 4) жидких кристаллов?
8	Какая особенность присуща лазерам с вертикальным резонатором: 1) отсутствие горизонтальных резонаторов; низкий пороговый ток; 2) встроенная система накачки; отсутствие горизонтальных резонаторов; 3) высокий КПД, низкий пороговый ток?
9	Какой эффект используется в работе наноэлектронных фотоприемников на квантовых схемах: 1) туннельный; 2) размерного квантования; 3) тиристорный; 4) лавинного пробоя?
10	Какой квантовой эффективностью характеризуются фотоприемники на квантовых точках: 1) $n < 1 \%$; 2) $n \approx 3...30 \%$; 3) $n \approx 31...50 \%$; 4) $n > 50 \%$?

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Рассчитайте контактную разность потенциалов n - p^+ -гомоперехода, сформированного на контакте двух кристаллов с уровнем легирования $5 \cdot 10^{14}$ и $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$
---	--

	при комнатной температуре. <i>Ответ:</i> $\varphi_0 = 0.12$ эВ.
2	Рассчитайте контактную разность потенциалов гомоперехода, сформированного на контакте двух невырожденных полупроводников p- и n-типа: а) PbS б) Si. $N_d = 10^{18} \text{см}^{-3}$, $N_a = 10^{16} \text{см}^{-3}$. <i>Ответ:</i> а) $\varphi_0 = 0.20$ эВ; б) $\varphi_0 = 0.79$ эВ.
3	Рассчитайте разрывы зон проводимости ΔE_C и валентной зоны ΔE_V а также диффузионный потенциал φ_0 для гетероперехода n-Si-p-Ge. Постройте энергетическую диаграмму. Концентрацию мелких доноров в кремнии примите равной $N_d = 5 \cdot 10^{15} \text{см}^{-3}$, концентрацию мелких акцепторов в германии $N_a = 2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$. <i>Ответ:</i> $\Delta E_C = 0.12$ эВ, $\Delta E_V = 0.34$ эВ, $\varphi_0 = 0.41$ эВ.
4	Рассчитайте для идеального гетероперехода n-Si-p-Ge из предыдущей задачи толщину обедненных слоев, напряженности полей на границе раздела и контактные разности потенциалов, приходящиеся на каждый материал. Постройте энергетическую диаграмму. Определите, какой высоты потенциальные барьеры стоят на пути встречного движения через переход основных носителей. <i>Ответ:</i> со стороны n-Si: $Q_1 = 2.4 \cdot 10^{-8} \text{Кл/см}^2 = 1.5 \cdot 10^{11} \text{см}^{-2}$, $d_1 = 0.3 \text{мкм}$, $E_1 = 2.25 \cdot 10^4 \text{В}$, $\varphi_1 = 0.35$ эВ; со стороны p-Ge: $Q_1 = -1.5 \cdot 10^{11} \text{см}^{-2}$, $d^2 = 0.075 \text{мкм}$, $E_2 = 1.69 \cdot 10^4 \text{В}$, $\varphi_1 = 0.35$ эВ. Барьер для движения электронов из кремния в германий равен $\varphi_1 = 0.35$ эВ, для движения дырок из германия в кремний равен $\varphi_0 + \Delta E_V = 0.75$ эВ.
5	Используя правило Андерсона вычислите разрывы зоны проводимости и валентной зоны для гетероперехода а) GaAs-AlAs и б) InAs-GaSb. <i>Ответ:</i> а) $\Delta E_C = 0.56$ эВ, $\Delta E_V = -0.17$ эВ; б) $\Delta E_C = 0.86$ эВ, $\Delta E_V = -0.46$ эВ.
6	Используя правило Андерсона, нарисуйте зонную диаграмму при комнатной температуре для гетероструктуры p-Al_{0.2}Ga_{0.8}As – n-GaAs. Какие типы зарядов, может захватывать данная структура на гетерогранице? Как изменится зонная диаграмма при приложении постоянного потенциала V?
7	Схематически изобразите диаграмму p-n и n-p-переходов на основе гетероперехода II типа и в каком случае электроны и дырки могут «захватываться» на интерфейсе. Что изменится в случае нелегированного гетероперехода III типа (например, InAs-GaSb)?
8	Рассчитайте контактную разность потенциалов и изобразите энергетическую диаграмму p-n-перехода на основе GaAs при следующих параметрах легирования: $N_D = 2 \cdot 10^{21} \text{м}^{-3}$, $N_A = 10^{23} \text{м}^{-3}$, $N_C = 4.7 \cdot 10^{23} \text{м}^{-3}$, $N_V = 7 \cdot 10^{24} \text{м}^{-3}$. <i>Ответ:</i> 1.19 эВ.
9	Диод из предыдущей задачи замените гетеропереходом между n-Al_{0.3}Ga_{0.7}As и p-GaAs. Легирование Al меняется скачком. Сосчитайте положение уровня Ферми, нарисуйте диаграмму, и рассчитайте контактную разность потенциалов. Покажите, что контактную разность потенциалов вычисляется как: $eV = E_g^{(p)} + \Delta E_C - [E_c^{(n)} - E_F^{(n)}] - [E_F^{(p)} - E_v^{(p)}].$ Две разности в скобках могут быть вычислены просто исходя из уровня легирования. Покажите, что эффект от замены GaAs на AlGaAs на n-стороне сводится к увеличению контактной разности потенциалов на ΔE_C. <i>Ответ:</i> 1.52 эВ.
10	Используя справочные данные, определите по обобщенному правилу Вегарда составы $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$, которые без напряжений могут быть выращены на подложке InP. <i>Ответ:</i> 0.533 и 0.525.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Основные параметры и отличительные особенности гетеропереходов.
2. Физические явления в классических гетероструктурах.
3. Односторонняя инжекция.
4. Сверхинжекция.
5. Диффузия во встроенном квазиэлектрическом поле.
6. Электронное ограничение. Оптическое ограничение.
7. Эффект широкозонного окна.
8. Диагональное туннелирование через гетерограницу.
9. Низкопороговые полупроводниковые лазеры, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре,
10. Лазеры с распределенной обратной связью и с распределенными брэгговскими зеркалами,
11. Поверхностно-излучающие лазеры,
12. Инфракрасные лазеры на гетероструктурах II-го рода.
13. Высокоэффективные светоизлучающие диоды.
14. Солнечные элементы и фотодетекторы, основанные на эффекте широкозонного окна.
15. Полупроводниковая интегральная оптика, основанная на полупроводниковых РОС и РБЗ лазерах.
16. Гетеробиполярные транзисторы с широкозонным эмиттером.
17. Транзисторы, тиристоры, динисторы с передачей светового сигнала. Мощные диоды и тиристоры.
18. Преобразователи света из инфракрасного в видимый диапазон.
19. Эффективные холодные катоды.
20. Фундаментальные физические явления в гетероструктурах с квантовыми ямами и сверхрешетками.
21. Двумерный электронный газ.
22. Ступенчатый вид функции плотности состояний.
23. Квантовый эффект Холла.
24. Дробный квантовый эффект Холла.
25. Существование экситонов при комнатной температуре.
26. Резонансное туннелирование в структурах с двойным барьером и сверхрешетках.
27. Энергетический спектр носителей в сверхрешетках.
28. Стимулированное излучение при резонансном туннелировании в сверхрешетках.
29. Псевдоморфный рост напряженных структур.
30. Инфракрасные квантовые каскадные лазеры.
31. Лазер с КЯ, ограниченной КПСР.
32. Транзисторы с высокой подвижностью электронов (ВПЭТ).
33. Резонансно-туннельные диоды.
34. Высокоточные стандарты сопротивлений.
35. Приборы на основе эффекта электропоглощения и электрооптические модуляторы.

36. Инфракрасные фотодетекторы на основе эффекта поглощения между уровнями размерного квантования.
37. Фундаментальные физические явления в гетероструктурах с квантовыми проволоками и квантовыми точками.
38. Одномерный электронный газ (КП). Функция плотности состояний с острыми максимумами (КП).
39. Нульмерный электронный газ (КТ). Функция плотности состояний типа δ -функции (КТ).
40. Лазеры на основе самоорганизующихся КТ.
41. Многослойные КТ-лазер.
42. Применение гетероструктур с квантовыми проволоками и квантовыми точками для создания «одноэлектронных» устройств.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Гетероструктуры в современной микроэлектронике.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
2	Полупроводниковые приборы на основе классических гетероструктур.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
3	Гетероструктуры с квантовыми ямами и сверхрешетками.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
4	Полупроводниковые приборы на основе гетероструктур с квантовыми ямами (КЯ) и сверхрешетками.	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
5	Гетероструктуры с квантовыми проволоками (КП) и квантовыми точками (КТ).	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос
6	Применение гетероструктур с квантовыми проволоками и квантовыми точками	ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-3	Тест, зачет, устный опрос

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
Основная литература				
1	Смирнов, Ю.А., Соколов С. В., Титов Е. В.	Основы микроэлектроники и микропроцессоров техники : Учеб. пособие / Ю. А. Смирнов. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2013. - 496 с.	2013, печат.	0,32
2	Ефимов И.Е., Козырь И.Я.	Основы микроэлектроники: [Электронный ресурс]: учебник. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2008. — 384 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=709	2014, электронный ресурс	1,0
3	Игнатов А. Н.	Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие. - СПб.: Лань, 2011. - 544 с.	2011, учеб. пособ.	0,9
4	Пантелеев В.И.	Физика и технология полупроводниковых гетеропереходных структур: учеб. пособие. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. - 82 с.	2000, учеб. пособ.	1,0
5	Игнатов А.Н.	Микросхемотехника и наноэлектроника [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Электрон. дан. - СПб.: Лань, 2011. — 528 с.	2011, электронный ресурс	1,0

6	Лозовский В.Н., Константинова Г.С. Лозовский С.В.	Нанотехнология в электронике. Введение в специальность. Учебное пособие [Электронный ресурс]: учебное пособие /. - Электрон. дан. - СПб.: Лань, 2008. - 328 с.	2008, электронный ресурс	1,0
Дополнительная литература				
1	Щука А.А.	Электроника: учеб. пособие / под ред. проф. А.С. Сигова. - СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.	2005, учеб. пособ.	0,28
2	Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф.	Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2006. 336 с.	2006, учеб. пособие,	1,0
3	Марголин В. И., Жабров В. А., Лукиянов Г. Н.	Введение в нанотехнологию [Электронный ресурс]: учебное пособие / [и др.]. - Электрон. дан. - СПб. : Лань, 2012.	2012, электронный	1,0

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Системные программные средства: Microsoft Windows, Microsoft Vista
Прикладные программные средства: Microsoft Office 2010 Pro, Fire-Fox, LabVIEW, Elektronik Workbench.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
2. Оборудование: стенды ЛЭСО-3, компьютеры.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Микроэлектронные приборы на гетероструктурах» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета параметров технологических процессов лучевых и плазменных технологий. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1		31.08.2018	
2		31.08.2019	
3		31.08.2020	